

Carlo Rovelli

# HET MYSTERIE VAN DE TIJD

2018 Prometheus Amsterdam

Aan Ernesto, Bilo en Edoardo

De vertalers ontvingen voor deze vertaling een projectsubsidie van het Nederlands Letterenfonds.

**N**ederlands  
letterenfonds  
dutch foundation  
for literature

Oorspronkelijke titel *L'Ordine del tempo*

© 2017 Carlo Rovelli

© 2018 Nederlandse vertaling Uitgeverij Prometheus en Yond Boeke en  
Patty Krone

Omslagontwerp Tessa van der Waals

Foto omslag Maarten Baas, *Real Time*, *Schiphol clock*

Foto auteur Basso Cannarsa

Lithografie afbeeldingen Marc Gijzen

Zetwerk en opmaak Willem Morelis

[www.uitgeverijprometheus.nl](http://www.uitgeverijprometheus.nl)

ISBN 978 90 446 3500 3

# INLEIDING

## Misschien is het grootste mysterie wel de tijd

Terwijl wij spreken, ontsnapt de jaloerse tijd:  
pluk de dag en vertrouw nimmer op die van morgen.

Horatius, *Oden*, I, 11

Ik sta stil en doe niets. Er gebeurt niets. Ik denk nergens aan. Ik luister naar het verstrijken van de tijd.

Zo is de tijd. Vertrouwd en intiem. Zijn onstuimigheid sleurt ons mee. Het voortjagen van seconden, van uren, van jaren katapulteert ons het leven in en voert ons vervolgens mee naar het niets... We bevinden ons in de tijd zoals vissen zich in het water bevinden. Ons zijn is een zijn in de tijd. We worden gekoesterd door zijn gezang, hij opent de wereld voor ons, verwacht ons, jaagt ons schrik aan, wiegt ons. Het wordingsproces van het universum wordt voortgestuwd door de tijd, volgens de tijdsvolgorde.

In de hindoeïstische *mythologie* wordt de kosmische rivier verbeeld door de dansende god Shiva: zijn dans ondersteunt het stromen van het universum, is het verstrijken van de tijd. Wat is er universeeler en eviderenter dan dit stromen?

En toch liggen de zaken ingewikkelder. De werkelijkheid is vaak anders dan die zich aan ons voordoet: de aarde lijkt plat, maar is een bol; de zon lijkt zich langs de hemel te wentelen, maar in werkelijkheid zijn wij het die ronddraaien. Dat ook de structuur van de tijd niet is wat die lijkt – een uniform, universeel stromen – ont-

dekte ik tot mijn verbazing in natuurkundeboeken, op de universiteit. De tijd functioneert anders dan dat hij zich aan ons voor doet.

Bij het lezen van die boeken kwam ik er ook achter dat we nog niet weten hoe de tijd feitelijk functioneert. De aard van de tijd blijft wellicht het grootste mysterie. Wonderlijke lijnen verbinden de tijd met andere grote, nog onopgeloste mysteries: de aard van de geest, de oorsprong van het universum, het lot van de zwarte gaten, het functioneren van het leven. Steeds is er weer iets essentieels wat terugvoert naar de aard van de tijd.

Verwondering is de bron van ons verlangen om te weten,<sup>1</sup> en de ontdekking dat de tijd niet is zoals we dachten dat hij is, leidt tot duizend-en-een vragen. De aard van de tijd vormt al mijn leven lang de kern van mijn onderzoekswerk als theoretisch natuurkundige. In dit boek zal ik vertellen wat we inmiddels van de tijd hebben begrepen, welke wegen we bewandelen om die nog beter te begrijpen, wat we nog niet begrepen hebben, en wat er volgens mij in het verschiet ligt.

Waarom herinneren we ons het verleden en niet de toekomst? Bestaan wij in de tijd, of bestaat de tijd in ons? Wat betekent het eigenlijk écht dat de tijd ‘verstrijkt’? Wat is het verband tussen de tijd en ons, de mens?

Waar luister ik naar als ik luister naar het verstrijken van de tijd?

Dit boek is opgedeeld in drie ongelijke delen. In deel 1 vat ik samen wat de moderne natuurkunde heeft begrepen van de tijd. Die kennis is als een sneeuwvlok op je hand: terwijl je die bestudeert smelt ze onder je ogen, en verdwijnt. In de regel denken we dat de tijd iets eenvoudigs is, iets fundamenteels wat uniform en zonder zich ergens iets van aan te trekken van het verleden naar de toekomst stroomt, gemeten door klokken. In de loop van de tijd volgen de gebeurtenissen van het universum elkaar volgens een vast patroon op: verleden, heden, toekomst. Het verleden staat

vast, de toekomst ligt open... Welnu: dat is allemaal niet waar gebleken.

De kenmerkende aspecten van de tijd zijn stuk voor stuk benaderingen gebleken, dwalingen die te wijten zijn aan ons perspectief – net als het plat zijn van de aarde of het draaien van de zon. De toename van onze kennis heeft ertoe geleid dat het begrip tijd langzaam is afgebrokkeld. Dat wat wij ‘tijd’ noemen is een complexe verzameling structuren,<sup>2</sup> lagen. Naarmate we de tijd diepgaander bestuderen, verloor hij die lagen één voor één. Deel I van dit boek is gewijd aan dit afbrokkelen van de tijd.

In deel II beschrijf ik wat er dan rest. Een leeg, winderig landschap waar bijna geen spoor van temporaliteit meer te bekennen valt. Een zonderlinge, afwijkende wereld – maar wel ónze wereld. Het is net of je in het hooggebergte terecht bent gekomen, met alleen sneeuw, rotsen en de lucht. Of net als het voor Armstrong en Aldrin moet zijn geweest toen ze zich op het roerloze zand van de maan waagden. Een elementaire wereld, van een dorre, zuivere, verontrustende schoonheid. Op dat extreme, schitterende landschap, de tijdloze wereld, probeert het gebied van de natuurkunde waarmee ik me bezighoud, de kwantumzwaartekracht, vat te krijgen, teneinde er een coherent beeld van te kunnen schetsen.

Deel III is het moeilijkste, maar ook het meest actuele, en staat het dichtst bij ons. In een wereld zonder tijd moet er toch iets zijn wat aan de bron staat van de tijd die wij kennen, met zijn volgorde – het verleden dat anders is dan de toekomst – zijn kalme verloop. Onze tijd moet op een of andere manier rondom ons ontstaan, op onze schaal, voor ons.<sup>3</sup>

Dat deel is de reis terug naar de tijd die in het eerste deel van dit boek verloren is gegaan, toen we op jacht gingen naar een elementaire grammatica aan de hand waarvan we de wereld kunnen begrijpen. Net als in een detective gaan we nu op zoek naar de schuldige die de tijd heeft voortgebracht. En zo vinden we één voor één de delen terug waaruit de ons vertrouwde tijd bestaat,

niet als basisstructuren van de werkelijkheid, maar als benaderingen waar de lompe, onhandige schepsels die wij stervelingen zijn wat aan hebben, facetten van ons perspectief, en wellicht ook beslissende facetten van hetgeen we zijn. Want het mysterie van de tijd gaat ten slotte – wellicht – meer over ons dan over de kosmos. En misschien was, net als in de eerste en uitmuntendste detective van allemaal, *Koning Oedipus* van Sophocles, de schuldige wel de detective zelf.

Dan wordt dit boek een gloeiende brij van soms lumineuze, soms warrige ideeën. Als jullie me volgen, neem ik jullie mee naar de plek tot waar onze huidige kennis over de tijd mijns inziens reikt, die grote nachtelijke, sterbezaaide zee van alles wat we nog niet weten.

DEEL I  
HET AFBROKKELEN VAN  
DE TIJD

# 1

## Het verlies van uniciteit

Nu reeds leidt de Cytherische Venus het koor onder  
het schijnsel van de maan,  
en trippelen Gratiën en Nimfen hand in hand over de  
aarde...

Horatius, *Oden*, I, 4

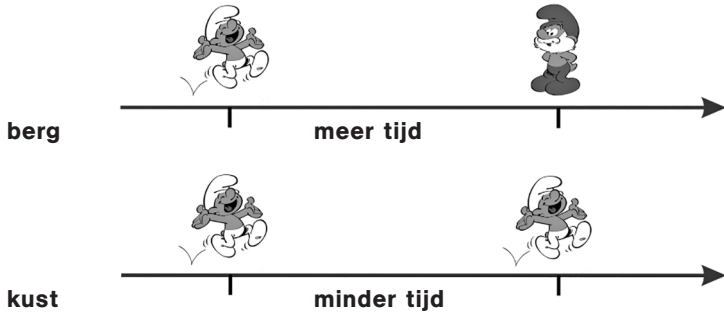
### HET VERTRAGEN VAN DE TIJD

Ik begin met een simpel feit: de tijd verstrijkt sneller in de bergen dan aan de kust.

Het verschil is klein, maar je kunt het controleren met nauwkeurige klokken die vandaag de dag voor zo'n duizend euro op internet te koop zijn. Met wat oefening kan iedereen constateren dat de tijd al bij een paar centimeter niveauverschil vertraagt: een klok die op de grond staat, loopt een haartje langzamer dan een klok die op tafel staat.

Niet alleen klokken lopen langzamer. Voor alle processen geldt: hoe lager, hoe langzamer ze zich voltrekken. De wegen van twee vrienden scheiden zich, de ene gaat aan de kust wonen, de andere in de bergen. Na jaren ontmoeten ze elkaar weer: die aan de kust heeft minder lang geleefd, is minder oud geworden, de slinger van zijn koekoeksklok heeft minder keren geslingerd, hij heeft minder tijd gehad om dingen te doen, zijn planten zijn minder gegroeid, zijn gedachten hebben minder tijd gehad om zich te ontwikkelen... Beneden is er minder tijd dan boven.





Verrassend? Misschien wel. Maar zo zit de wereld in elkaar. De tijd verstrijkt op sommige plekken langzamer dan op andere.

Werkelijk verrassend is het feit dat die vertraging van de tijd al een eeuw voordat we de klokken hadden om die te meten door iemand is voorspeld, te weten door Einstein.

Het vermogen om iets te begrijpen voordat je het ziet, vormt de kern van het wetenschappelijk denken. In de Oudheid, voordat er schepen rond de wereld voeren, begreep Anaximander al dat de hemel zich ook ónder onze voeten bevindt. In het begin van de moderne tijd, voordat astronauten de aarde vanaf de maan daadwerkelijk zagen draaien, begreep Copernicus al dat die draait. En voordat klokken nauwkeurig genoeg waren om verschillen in het tijdsverloop te meten begreep Einstein dus al dat de tijd niet uniform is.

Door bevindingen als deze leren we gaandeweg dat zaken die ooit evident leken in feite foute aannames waren. De hemel – zo leek het – bevindt zich natuurlijk boven en niet onder ons, anders zou de aarde naar beneden vallen. De aarde – zo leek het – beweegt natuurlijk niet, anders zou alles er door elkaar worden geschud. De tijd – zo leek het – verstrijkt overal met dezelfde snelheid, dat spreekt voor zich... Kinderen groeien op en leren dat de wereld niet helemaal is zoals ze dachten; de verzamelde mensheid doet hetzelfde.

Einstein heeft zichzelf een vraag gesteld die velen zichzelf wellicht ook hebben gesteld toen ze de zwaartekracht bestudeerden: hoe kunnen de zon en de aarde elkaar door middel van de zwaartekracht ‘aantrekken’ als ze elkaar niet raken en ze niet gebruiken van iets wat zich tussen hen in bevindt? Einstein heeft gezocht naar een plausibele verklaring. Hij stelde zich voor dat de zon en de aarde elkaar niet rechtstreeks aantrekken, maar dat elk van de twee gradueel invloed uitoefent op hetgeen er zich tussen hen in bevindt. En aangezien er zich tussen de zon en de aarde alleen maar ruimte en tijd bevinden, heeft hij bedacht dat de zon en de aarde de ruimte en tijd rondom zich *veranderen*, zoals een lichaam dat in het water wordt ondergedompeld het water rondom zich verplaatst. Die verandering van de structuur van de tijd zou dan op haar beurt invloed uitoefenen op de beweging van alle lichamen en ze in elkaars richting laten ‘vallen’.<sup>1</sup>

Wat betekent ‘verandering van de structuur van de tijd’? Het betekent de vertraging van de hierboven beschreven tijd: elk lichaam vertraagt de tijd in zijn nabijheid. De aarde is een grote massa en vertraagt de tijd in haar buurt. Meer aan de kust dan in de bergen, omdat de bergen zich wat verder van het aardoppervlak bevinden. Daarom verouderd de vriend aan de kust minder snel.

Als dingen vallen, komt dat door deze vertraging van de tijd. Daar waar de tijd uniform verstrijkt, in de interplanetaire ruimte, vallen dingen niet: ze zweven zonder te vallen. Maar hier, op het oppervlak van onze planeet, richt de beweging van de dingen zich automatisch dáárheen waar de tijd langzamer verstrijkt. Dingen vallen naar beneden omdat de tijd daar wordt vertraagd door de aarde.<sup>2</sup>

Ook al valt de vertraging van de tijd dus niet eenvoudig waar te nemen, toch heeft die zichtbare gevolgen: ze maakt dat dingen vallen en houdt ons met onze voeten op de aarde. Je voeten blijven aan de vloer plakken omdat je hele lichaam van nature daarheen

trekt waar de tijd langzaam verstrijkt, en de tijd verstrijkt langzamer voor je voeten dan voor je hoofd.

Raar? Het is net als de eerste keer dat je, kijkend naar de ondergaande zon, opeens beseft dat het niet de zon is die beweegt, maar de aarde die draait, en dat je met de ogen van de *Fool on the Hill*<sup>3</sup> ziet hoe de hele planeet, met jezelf erbij, achteruit draait, weg van de zon. Het zijn die ogen die, net als de ogen van zo veel ‘gekken’, verder kijken dan onze alledaagse slaperige ogen.

#### TIENDUIZEND DANSENDE SHIVA'S

Ik ben dol op Anaximander, de Griekse filosoof die zesentwintig eeuwen geleden al begreep dat de aarde in de ruimte zweeft en nergens op rust.<sup>4</sup> We kennen Anaximanders ideeën via anderen die erover hebben gesproken, maar van zijn geschriften rest slechts één fragment:

Uit datgene waaruit bestaande dingen hun genese hebben, daarin vinden ze ook hun ondergang, zoals het hoort; ze geven elkaar immers genoegdoening en boete voor het onrecht, in overeenstemming met de tijdsvolgorde.

‘In overeenstemming met de tijdsvolgorde’ (κατὰ τὴν τοῦ χρόνου τάξιν). Van een van de ontstaansmomenten van de natuurwetenschap resten ons slechts deze geheimzinnig klinkende, obscure woorden, dit pleidooi voor de ‘tijdsvolgorde’.

Astronomie en natuurkunde zijn groot geworden door de aanwijzing van Anaximander op te volgen: begrijpen hoe verschijnselen plaatsvinden *in overeenstemming met de tijdsvolgorde*. De antieke astronomie beschreef de bewegingen van hemellichamen *in de tijd*. Natuurkundige vergelijkingen beschrijven hoe dingen *in de tijd* veranderen. Van de vergelijkingen van Newton, waarop de dynamica is gebaseerd, tot die van Maxwell, waarmee elektromagnetische verschijnselen worden beschreven, van de Schrödinger-

vergelijking die beschrijft hoe kwantumfenomenen evolueren, tot de vergelijkingen van de kwantumveldentheorie die de dynamica van subatomaire deeltjes beschrijven: onze hele natuurkunde is de wetenschap van hoe dingen evolueren ‘in overeenstemming met de tijdsvolgorde’.

De conventie wil dat we de tijd aanduiden met de letter  $t$  (tijd begint met een ‘t’ in het Nederlands, Frans, Engels en Spaans, maar niet in het Duits, Arabisch, Russisch of Chinees). Waar staat  $t$  voor? Voor het getal dat we meten met een klok. Vergelijkingen geven aan hoe de dingen veranderen naarmate de door een klok gemeten tijd verstrijkt.

Maar als verschillende klokken verschillende tijden aangeven, zoals we hierboven hebben gezien, voor welke tijd staat  $t$  dan? Als de twee vrienden van wie de ene in de bergen heeft gewoond en de andere aan de kust, elkaar terugzien, geven hun horloges verschillende tijden aan. Welke van de twee is  $t$ ? Klokken in een natuurkundig laboratorium lopen niet even snel als de ene op tafel staat en de andere op de grond: welke van de twee geeft de echte tijd aan? Hoe moet je het tijdsverschil tussen de twee klokken beschrijven? Moeten we zeggen dat de klok op de grond trager loopt ten opzichte van de echte tijd die op de tafel wordt gemeten? Of dat de klok op de tafel sneller loopt ten opzichte van de echte tijd die op de grond wordt gemeten?

Die vraag is zinloos. Je kunt je net zo goed afvragen wat échter is: de waarde van de pond in dollars of de waarde van de dollar in ponden. Er bestaat geen echte waarde, er zijn twee valuta die een waarde hebben *ten opzichte van elkaar*. De ene tijd is niet echter dan de andere. Er zijn twee tijden, weergegeven door twee verschillende klokken, die *ten opzichte van elkaar* veranderen.

Sterker nog, er zijn geen *twéé* tijden: er zijn er een heleboel. Een andere tijd voor elk punt in de ruimte. Er bestaat niet één enkele tijd. Er bestaan talloze tijden.

De tijd die wordt aangegeven door één bepaalde klok, gemeten

door een bepaald fenomeen, wordt in de natuurkunde ‘eigentijd’ genoemd. Elke klok heeft een eigentijd. Elk fenomeen dat voorvalt heeft zijn eigentijd, zijn eigen ritme.

Einstein heeft ons geleerd vergelijkingen op te stellen die beschrijven hoe eigentijden *ten opzichte van elkaar* evolueren. Hij heeft ons geleerd hoe we het verschil tussen twee tijden moeten berekenen.<sup>5</sup>

De grootheid ‘tijd’ spat uiteen in een spinnenweb van tijden. We beschrijven niet hoe de wereld evolueert in de tijd: we beschrijven hoe dingen evolueren in lokale tijden en hoe lokale tijden evolueren *ten opzichte van elkaar*. De wereld is geen peloton dat in een door de commandant aangegeven ritme oprukt. Het is een netwerk van gebeurtenissen die elkaar wederzijds beïnvloeden.

Zo wordt de tijd beschreven in Einsteins algemene relativiteitstheorie. Zijn vergelijkingen bevatten niet één tijd, maar ontelbare. De duur tussen twee gebeurtenissen, zoals het van elkaar scheiden en elkaar weer tegenkomen van twee horloges, is niet uniek.<sup>6</sup> De natuurkunde beschrijft niet hoe de dingen evolueren ‘in de tijd’, maar hoe de dingen evolueren in hun respectieve tijden en hoe ‘de tijden’ evolueren *ten opzichte van elkaar*.<sup>7</sup>

Zo heeft de tijd met Einstein zijn eerste laag verloren: zijn uniciteit. Op elke plek heeft de tijd een ander ritme, een andere gang. De dingen van de wereld dansen in verschillende ritmes. Als de wereld wordt ondersteund door de dansende Shiva, dan moeten er dus tienduizenden Shiva’s zijn, één grote gemeenschappelijke dans, als op een schilderij van Matisse...

## 2

### Het verlies van richting

Ook als je verleidelijker zou tokkelen op de lier  
dan de Thracische Orpheus die zelfs de bomen beroerde,  
dan nog keert het bloed niet terug in een ijle schim [...].  
Het is hard: maar dat wat niet kan worden goedgeemaakt  
wordt verzacht door geduld.

Horatius, *Oden*, 1, 24

#### WAAR KOMT HET EEUWIGE STROMEN VANDAAN?

Klokken mogen in de bergen dan sneller lopen dan aan de kust, maar is dat wat we in de kern zo interessant vinden aan de tijd? In een rivier stroomt het water bij de oevers traag en in het midden snel, maar het stroomt wel aldoo... Tijd is toch iets wat in zijn geheel van het verleden naar de toekomst stroomt? Laten we dat pietluttige meten van hoeveel tijd er verstrijkt, en de getallen waarin we dat uitdrukken waarover ik me in het vorige hoofdstuk het hoofd heb gebroken even vergeten. Er is iets veel wezenlijkers: het verstrijken ervan, het stromen, de *eeuwige stroming* uit de eerste van *De elegieën van Duino* van Rilke:

De eeuwige stroming  
voert in beide rijken alle tijden des levens  
naar een hogere eenheid.<sup>1</sup>

Verleden en toekomst zijn verschillend. Oorzaak gaat vooraf aan gevolg. Pijn volgt op de verwonding en gaat daar niet aan vooraf.

Een glas breekt in duizend stukjes en die duizend stukjes worden niet weer een glas. We kunnen het verleden niet veranderen; we kunnen spijt hebben, wroeging, herinneringen aan geluk. De toekomst daarentegen is onzekerheid, verlangen, onrust, open ruimte, lot wellicht. We kunnen ermee leven, ervoor kiezen, omdat die er nog niet is: alles is er nog mogelijk... Tijd is geen lijn die er in beide richtingen hetzelfde uitziet: het is een pijl waarvan de uiteinden van elkaar verschillen:



**verleden**



**toekomst**

Dát is wat ons wezenlijk interesseert aan de tijd, meer dan de snelheid waarmee die verstrijkt. Dát is het wezen van de tijd. Dat verglijden dat we voelen branden op onze huid, in onze angst voor de toekomst, in het mysterie van de herinnering; daarin schuilt het geheim van de tijd, de betekenis van wat we bedoelen als we aan de tijd denken. Wat is dat stromen? Welke plek neemt het in in de grammatica van de wereld? Wat onderscheidt in de plooiën van het mechanisme van de wereld het verleden, en het feit dat het geweest is, van de toekomst, en het feit dat die nog níet geweest is? Waarom verschilt het verleden zo van de toekomst?

In de negentiende en twintigste eeuw heeft de natuurkunde zich op deze vragen gestort en is gestuit op iets wat veel onverwachter en verontrustender was dan het in wezen marginale feit dat tijd op sommige plekken sneller verstrijkt dan op andere. Het verschil tussen verleden en toekomst – tussen oorzaak en gevolg, tussen herinnering en hoop, tussen wroeging en intentie – ontbreekt in de basiswetten die de mechanismes van de wereld beschrijven.

## WARMTE

Het begon allemaal met een koningsmoord. Op 16 januari 1793 stemde de Nationale Conventie in Parijs vóór de doodstraf van Lodewijk XVI. Een van de diepere bronnen van de wetenschap is wellicht de ordening van de aanwezige dingen niet accepteren.<sup>2</sup> Onder de leden die een fatale stem uitbrengen bevindt zich Lazare Carnot, een vriend van Robespierre. Lazare is verzot op de grote Perzische dichter Saadi uit Shiraz, die door kruisvaarders in Akko gevangen werd genomen en tot slaaf werd gemaakt, en wiens schitterende verzen ingeweven in een tapijt op het hoofdkwartier van de VN hangen:

De zonen van Adam delen hun ledematen,  
zijn gemaakt van dezelfde essentie.  
Als de ramspoed van de tijd één lidmaat raakt  
kunnen de andere geen rust vinden.  
Als je niet openstaat voor de pijn van anderen,  
ben je het onwaardig Mens genoemd te worden.

Een van de diepere bronnen van de wetenschap is wellicht de poëzie: kunnen zien voorbij het zichtbare. Carnot noemt zijn eerste zoon Sadi, naar Saadi uit Shiraz. En zo staan rebellie en poëzie aan de wieg van Sadi Carnot.

De jongen raakt in de ban van de stoommachines die vuur gebruiken om dingen te laten draaien en die de negentiende-eeuwse wereld gaandeweg een ander aanzien geven. In 1824 schrijft hij een boekje met de verlokkelijke titel *Overpeinzingen over de beweegkracht van het vuur*, waarin hij tracht de theoretische beginselen van de werking van die machines te doorgronden. Het werkje staat vol foute aannames: hij stelt zich voor dat warmte iets concreets is, een soort fluïdum dat energie produceert door van warme dingen op koude dingen te ‘vallen’, net zoals het water van een waterval energie produceert door omlaag te vallen. Maar er zit wel een kern